



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mikko Itämö

# DIESELMOOTTORIN AUTOMAATIO- ASENNUSTEN TUOTANNOLLISTAMI- NEN

Tekniikka ja liikenne  
2014

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Mikko Itämö
Opinnäytetyön nimi	Dieselmoottorin automaatioasennusten tuotannollistaminen
Vuosi	2014
Kieli	suomi
Sivumäärä	46
Ohjaaja	Timo Männistö ja Mikko Ketonen

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Wärtsilä Oyj:n Vaasan toimitusyksikön linjakokoonpanolle. Opinnäytetyön aihe on W9L32E-moottorimallin automaatioasennusten tuotannollistaminen. Työn tarkoituksena oli varmistaa vaadittu laatutaso sekä tuotannon sujuvuus. Lisäksi tarkoituksena oli laatia erillinen työohje ja työvaiheohje sähköasentajille.

Opinnäytetyö aloitettiin tutustumalla automaatioasennusten rakenteeseen tutkimalla sähköpiirustuksia. Piirustuksien perusteella mietittiin alustava työvaiheistus ja työvoiman tarve asennusten suorittamiseen. Työn alussa tutustuttiin myös teoreettisiin teoksiin tuotannosta, laadunhallinnasta sekä Lean – ajattelumallista. Wärtsilän sisäiset ohjeet sähkötöistä olivat myös suuressa osassa työohjeiden suunnittelussa. Kokoonpanovaiheessa otettiin valokuvia jokaisesta työvaiheesta sekä tehtiin yksityiskohtaisia muistiinpanoja.

Sähköasentajille järjestettiin pienimuotoinen koulutus työohjeiden ja työvaiheistuksen laatimisen jälkeen, jossa työvaiheita käytiin läpi. Työohjetta sekä työvaiheistusta käytetään hyväksi WL32E-moottorimallin automaatioasennusten kokoonpanossa. Opinnäytetyön perusteella syntynyttä toimintamallia käytetään apuna uusien moottorimallien automaatioasennusten tuotannollistamisessa.

---

Avainsanat                      tuotannollistaminen, automaatioasennukset, moottorinohjausjärjestelmä, Lean, laatu,

---

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

## ABSTRACT

Author	Mikko Itämö
Title	The Industrialization of Automation Installation of Diesel Engine
Year	2014
Language	Finnish
Pages	46
Name of Supervisor	Timo Männistö and Mikko Ketonen

---

This thesis was made for the line assembly of Wärtsilä Finland Oyj, Delivery Centre Vaasa. The topic of thesis was the industrialization of automation installation of the W9L32E diesel engine. The purpose was to ensure the demanded level of the quality and ensure the feasibility of the assembly. Also the making of assembly instructions and assembly organization was in the scope of this thesis.

The thesis was started with examining the structure of the automation system and electrical drawings. On the basis of the electrical and technical drawings the assembly organization and manpower was specified. The theoretical background was researched by examining literature on production, quality management and Lean. The internal guidelines of electrical installations were supporting the creating process of assembly instruction. Notes and photographs were taken from the engine assembly phase.

A small-scale training was held to the electricians where assembly instructions were introduced and went through different installation phases. The results of this thesis will be made use of in the automation installation of the WL32E diesel engine.

---

Keywords Industrialization, installation of automation system, engine control system, Lean, quality

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVALUETTELO

LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO .....	8
2	WÄRTSILÄ .....	9
2.1	Yrityksen perustaminen ja historia .....	9
2.2	Toiminta nykyään .....	9
2.2.1	Power Plants.....	10
2.2.2	Ship Power .....	10
2.2.3	Service.....	10
3	TUOTANTO .....	11
3.1	Tuotannon määritelmä .....	11
3.2	Tuotannontekijät .....	11
3.3	Tuotantomuodot.....	11
3.4	Tuotannon tavoitteet .....	13
3.5	Läpäisyaika .....	14
4	LAATU.....	15
4.1	Laadun määritelmä.....	15
4.2	Laatutekijät .....	15
4.3	Laatukustannukset.....	15
4.4	Laadunhallinta.....	17
5	LEAN TUOTANTOFILOSOFIA .....	19
5.1	Yleistä .....	19
5.2	Hukan poistaminen .....	19
5.3	Wärtsilä Lean .....	21
5.4	5S .....	22
6	AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ.....	24
6.1	UNIC-C2 moottorinohjausjärjestelmän kuvaus.....	24
6.2	Rakenne.....	26

6.3	Anturit ja toimilaitteet.....	27
7	AUTOMAATIOASENNUSTEN TUOTANNOLLISTAMINEN.....	29
7.1	Alkutilanne.....	29
7.2	Tutustuminen .....	30
7.3	Projektin aloittaminen.....	31
7.4	Työvaiheohjeen laatiminen.....	31
7.5	Työohjeen laatiminen.....	33
7.5.1	Automaatioasennusten yleiset työohjeet.....	33
7.5.2	Automaatioasennusten vaihekohtaiset työohjeet .....	37
8	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	42
8.1	Yhteenveto ja lopputuloksen kuvaus .....	42
8.2	Kehitysehdotukset.....	43
8.3	Arviointi.....	44
	LÄHTEET .....	46

**KUVALUETTELO**

<b>Kuva 1.</b>	Tuotteen läpäisyajasta suuri osa kuluu arvoa-lisäämättömään toimintaan.	s. 14
<b>Kuva 2.</b>	Laadun kokonaiskustannusten muodostuminen.	s. 16
<b>Kuva 3.</b>	Wärtsilä Lean-toimintamallin osa-alueet.	s. 21
<b>Kuva 4.</b>	5S-mallin mukaiset työkalupisteet.	s.23
<b>Kuva 5.</b>	Yleiskuva UNIC C2-järjestelmästä.	s. 24
<b>Kuva 6.</b>	Lohkoon kiinnitettävä painelähetin, termopari ja-PT100-anturi.	s. 28
<b>Kuva 7.</b>	Kaapelisuoja lyhentäminen oikean mittaiseksi.	s. 35
<b>Kuva 8.</b>	Kutistesukan käyttäminen johtimien suojaamiseen kytkentärasian läpiviennissä	s. 36
<b>Kuva 9.</b>	Suojamaadoituksen, toiminnallisen maan sekä moottorilohkon maadoituspisteen merkinnät	s. 37

## LYHENNELUETTELO

C°	Celsius-aste
CAN	Controller area network, Automaatioväylä
DE	Drive end, Vauhtipyörän pää
EMC	Electromagnetic compability, Elektromagneettinen soveltuvuus
ESM	Engine safety module, Moottorin turvamoduuli
FE	Free end, Vapaa pää
HT	High temperature, Korkea lämpötila
IDM	Integrated document management, Integroitu dokumenttien hallinta
IOM	Input/output module, Tulo/lähtö moduuli
ISO	International Organization for Standardization, Kansainvälinen standardointi organisaatio
JP	Jatkuva parantaminen
LCP	Local control panel, Paikallisohjauskeskus
LDU	Local display unit, Paikallisnäyttöyksikkö
LOM	Lube oil module, Voiteluöljymoduuli
LT	Low temperature, Matala lämpötila
mA	Milliampeeri
MCM	Main control module, Pääohjaus moduuli
mV	Millivoltti
OMD	Oil mist detector, Öljysumuhälytin
PDM	Power distribution module, Tehonsyöttömoduuli
PE	Protectional earth, Suojamaa
UNIC	Wärtsilä yhdistetty ohjausjärjestelmä, Wärtsilä Unified Controls
V2	Piirustusten korjausohje
WDMS	Wärtsilä data management system, Wärtsilä datan hallintajärjestelmä
WIP	Wärtsilä instrument panel, Wärtsilä toimilaittepaneeli
Ω	Ohmi

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Wärtsilä Oyj Abp Vaasan toimitusyksikön Linjakokoonpanoon. Opinnäytetyön aiheena oli uuden WL32E-rivimoottorimallin automaatioasennusten tuotannollistaminen. Ensimmäiset WL32E-moottorit ovat tulleet tuotantoon jo loppuvuodesta 2012, joten työtapoja ja työvaiheita ei tarvinnut kehittää alusta alkaen. Moottorin automaatioasennusten tuotannollistamista tutkittiin HHI 2652 – projektiin kuuluvien moottoreiden perusteella, joiden valmistus alkoi viikolla 2 ja toimitukseen kuului 6 kappaletta W9L32E-moottoria.

Linjamuotoinen kokoonpano on altis erilaisille häiriöille. Tuotannollistamisen lähtökohta on poistaa näitä häiriöitä ja turvata tuotannon lähtökohdat. Kokoonpanon sujuvuuden kannalta toimiva logistiikka sekä tasainen materiaalivirta ovat tärkeitä. Selkeät työ- ja toimintaohjeet pyrkivät poistamaan ylimääräisen ja tarpeettoman työn sekä varmistamaan vaaditun laatutason. Järkevästi laadittu työvaiheistus auttaa resurssienhallinnassa. Näillä toimilla pyrittiin työn kustannustehokkuuteen ja kilpailukyvyn varmistamiseen.

Työssä perehdyttiin moottorin automaatioasennusten erilaisiin työvaiheisiin ja työtapoihin. Automaatioasennuksia koskevien työohjeet ja työvaiheistuksen luominen kuului olennaisena osana työhön. Lisäksi tarkoituksena oli luoda toimintamalli, jonka mukaan edetään tuotannollistettaessa uutta tuotetta.



## 2 WÄRTSILÄ

### 2.1 Yrityksen perustaminen ja historia

Wärtsilä perustettiin Tohmajärven Wärtsilän kylässä vuonna 1834. Nils Ludvig Arppe osti yrityksen vuonna 1836 ja perusti sen rinnalle rautaruukin vuonna 1851. Yrityksen yhtiömuodoksi tuli vuonna 1898 osakeyhtiö ja nimeksi Wärtsilä Aktiebolag. Muutaman vuoden kuluttua yhtiön nimeksi vaihdettiin Ab Wärtsilä Oy. /7/

Sotien jälkeen yhtiö oli suuri tekijä sotakorvausteollisuudessa. Vuonna 1965 yhtiön nimeksi muutettiin Oy Wärtsilä Ab. Monialakonserniin kuuluivat mm. Arabian posliinitehdas, Abloy ja Iittala. Dieselmoottoreita valmistettiin tuolloin Turun telakan yhteydessä ja Onkilahden konepajalla Vaasassa. /7/

1980-luvun lopulla Suomen telakkateollisuus joutui ongelmiin kannattavuuden kanssa aasialaisten kilpailijoiden vuoksi. Telakat ajautuivat konkurssiin ja yrityksen toimintastrategiaa muutettiin luopumalla lukko, lasi- ja posliinitehtaista ja keskittymällä merimoottori- ja voimalaitostekniikan kehittämiseen. /7/

### 2.2 Toiminta nykyään

Nykyään Wärtsilä on johtavassa asemassa merenkulun ja energiamarkkinoiden voimaratkaisujen toimittajana. Wärtsilä toimii laitetoimittajana tai kokonaistoimittajana sekä tukea asiakkaitaan tuotteiden koko elinkaaren ajan. Tähän voi kuulua esimerkiksi erilaisia huoltoratkaisuja sekä suunnittelua. /7/

Vuonna 2013 yrityksen liikevaihto oli noin 4,7 miljardia euroa. Yrityksen henkilöstömäärä on noin 18 700 henkilöä. Yrityksellä on lähes 170 toimipistettä 70 maassa ja pääkonttori sijaitsee Helsingissä.

Yritys on jakautunut kolmeen selkeään liiketoiminnan osa-alueeseen. Nämä ovat Power Plants, Ship Power ja Services. /9/

Yrityksen tavoite on olla johtava toimittaja koko elinkaaren kattavilla merenkulun markkinoilla ja tietyillä energiamarkkinoilla maailmanlaajuisesti. Kasvumahdollisuuksina nähdään maakaasua voimanlähteenä käyttävät moottorit meri- ja voimalaitos ympäristössä. Tiukentuneiden ympäristövaatimusten ja yritysostojen myötä kasvumahdollisuuksia nähdään myös erilaisissa ympäristöratkaisuissa kuten rikkipesureissa ja painolastiveden käsittelyjärjestelmissä. /7/

### **2.2.1 Power Plants**

Wärtsilä Power Plants on maailman neljänneksi suurin kaasua- ja nestepohjaisten voimalaitosratkaisujen toimittaja. Tällä hetkellä toimitettua kapasiteettia on 53 gigawatin edestä. Toimituksen laajuus voi olla pelkkä laitetoimitus tai se voi sisältää suunnittelun, hankinnan ja rakennuksen jolloin puhutaan kokonaistoimituksesta. Huomionarvoisia seikkoja Wärtsilän voimalaitoksissa on korkea hyötysuhde sekä tehokkuus vaikeissa olosuhteissa. /7/

### **2.2.2 Ship Power**

Ship Powerin päämarkkina-alueita ovat erikokoiset tankkerit, laivat, lautat ja offshore-sovellukset. Toinen tärkeä markkina-alue on ympäristövaatimusten tiukentumisen vuoksi kehitetyt sovellukset kuten kaasukäyttöiset moottorit, rikkipesurit ja painolastiveden käsittelyjärjestelmät. Ship Powerin vahvuuksia ovat kaasua ja monipolttoainemoottorit, laaja suorituskykyinen tuoteportfolio sekä huoltoverkosto. /7/

### **2.2.3 Service**

Services luo asiakkaalle lisäarvoa ylläpitämällä toimitetun laitteiston hyötysuhdetta sekä suorituskykyä. Service tarjoaa asiakkailleen palvelu- ja huoltoverkoston voimala- sekä merenkulkumarkkinoilla. Kasvunäkymänä nähdään kattavat huoltosopimukset uusille voimalaitos- ja merenkulkutoimituksille. /7/

### **3 TUOTANTO**

#### **3.1 Tuotannon määritelmä**

Tuotantoprosessi on yksi yrityksen keskeisimmistä toiminnoista. Tuotantoprosessin ja sen tukitoimintojen kehittäminen on edellytys yrityksen kilpailukyvyn säilymiselle. Usein myös merkittävimmät päätökset ja suurimmat ongelmat liittyvät tuotantoon ja sen kehittämiseen. /2, 350/

Nykyaikaisilla, tehokkailla ja pitkälle kehitetyillä valmistusmenetelmillä pyritään korkeaan tuottavuuteen. Perinteisesti valmistus ja tuotanto käsitetään tarkoittavan samaa asiaa. Valmistus kuitenkin tarkoittaa materiaalien muotoa tai olotilaa muuttavaa toimintaa. Tuotanto määritellään hankinnan, valmistuksen, jakelun ja tuotesuunnittelun kokonaisuudeksi. /2, 351- 352/

#### **3.2 Tuotannontekijät**

Tuotannon kannalta keskeisiä tekijöitä ovat tieto, pääoma, materiaali ja työ. Nykyaikaisessa, pitkälle viedyssä tuotantoprosessissa tietoa ja osaamista voidaan pitää yhtenä tärkeimmistä tuotannontekijöistä. Tiedolla ja osaamisella tarkoitetaan yrityksen organisaation osaamista ja liiketoiminnan ohella muodostunutta tietoa. /2, 352–353/

Pääomaa sitoutuu tuotantoprosessin vaatimiin investointeihin, kuten toimitiloihin, koneisiin, laitteisiin, tietotekniikkaan ja käyttöpääomaan eli tuotannontekijöihin. Materiaalilla tarkoitetaan yrityksen käyttämiä raaka-aineita ja komponentteja. Työllä tarkoitetaan kaikkien yrityksessä olevien työpanosta. /2, 352–353/

#### **3.3 Tuotantomuodot**

Yrityksen tuotantomuoto määräytyy tuotteen valmistusmäärien, rakenteen, valmistustekniikan ja jakelutien perusteella. Tuotantomuodon perusteella määritellään tuotantojärjestelmät ominaisuudet sekä toiminnan johtamisen ja ohjauksen periaatteet. /2, 353/

Tuotantomuodot määritellään tuotteen, valmistusaloitteen ja tuotantoerän koon perusteella. Tuotteet ovat joko vakio- tai tilaustuotteita. Vakiotuotteen valmistus ei edellytä tuotesuunnittelua, koska valmistuksen perustiedot ovat olemassa. Asiakas voi kuitenkin jossakin määrin vaikuttaa tuotteen ominaisuuksiin. Tilaustuotteella tarkoitetaan ainutkertaisia tuotteita kuten rakennuksia ja taideteoksia. /2, 353/

Tuotanto jaetaan varasto- tai asiakasohjautuvaksi valmistusaloitteen perusteella. Monet vakiotuotteet kuten autot, vaatteet ja elektroniikka ovat varasto-ohjautuvia. Varasto-ohjautuvassa tuotannossa valmistusaloite syntyy varaston täydennystarpeesta. Myös vakiotuotteet voivat olla asiakasohjautuvia. Tämä edellyttää, että tuotteen valmistuksen läpäisy aika on lyhyempi kuin asiakkaan vaatima toimitusaika. Vakiotuotteista on olemassa monia eri yhdistelmiä, jolloin niiden valmistaminen varastoon on taloudellisesti kannattamatonta. Tällöin varastoidaan osia ja puolivalmisteita, joista valmistetaan asiakkaan tilaama tuote. /2, 353/

Tuotanto jaetaan tuotantoerän perusteella yksittäis-, sarja- tai yhtenäistuotantoon. Uniikit tuotteet kuten laivat tai rakennukset ovat yksittäistuotantoa. Sarjatuotannossa tuotetta valmistetaan sarjoina. Tällä pyritään nostamaan tuotannon tehokkuutta, joka perustuu asetusten vähenemiseen ja toistuvuuden perusteella tapahtuvaan oppimiseen. Sarjatuotantona valmistetaan usein laite- ja koneenrakennuksen komponentteja. Suomalaiselle koneenrakennukselle on tyypillistä, että komponentit tuotetaan sarjatuotantona ja kokoonpano yksittäistuotantona. /2, 354/

Wärtsilässä moottorituotanto voidaan luokitella asiakasohjautuvaksi. Tuote on kuitenkin vakiotuotteen ja tilaustuotteen yhdistelmä. Moottorin perusrakenne on hyvin pitkälle standardoitu, mutta asiakas voi vaikuttaa moottorin ominaisuuksiin jonkin verran. Suunniteltu moottori voidaan valmistaa joko yksittäistuotantona tai tilauksen koko voi käsittää useampiakin moottoreita.

Moottoreissa käytetyt moduulit kootaan usein varastossa olevista puolivalmisteista. Moduulit toimitetaan erilliseltä moduulitehtaalta. Moduulitehtaalla komponentit tuotetaan sarjatuotantona ja toimitetaan pilot-kokoonpanoon tai linjakokoonpanoon. Linjakokoonpanossa moottorit tuotetaan sarjatuotantona ja pilot-kokoonpanossa yksittäistuotantona. Pilot-kokoonpanossa rakennetaan erikoismoottoreita

sekä uusien moottorimallien ensimmäisiä kappaleita. Pilot-kokoonpanon ajatuksena on saada jalostettua tuotannollistamisprosessi mahdollisimman pitkälle ennen kuin moottorimalli otetaan osaksi linjakokoonpanon tuoteportfolioa.

Wärtsilä käyttää myös paljon alihankkijoita tuotannossa. Esimerkiksi sähkökeskukset ja sivuluukkumoduulit valmistetaan alihankkijoiden toimesta. Suuri osa moottorilohkoista, koneistetuista osista ja putkista valmistetaan alihankkijoiden toimesta. Tällaista tuotantotapaa kutsutaan verkostotuotannoksi. Wärtsilän tuotannossa käytetään laajasti erilaisia tuotantomuotoja ja niiden yhdistelmiä. Näin pyritään pääsemään työn tehokkuuden, tuottavuuden ja tuotteiden laadun kannalta parhaaseen lopputulokseen.

### **3.4 Tuotannon tavoitteet**

Tuotannolle asetettavia tavoitteita on hyvä tarkastella yrityksen kilpailutekijöiden kannalta. Kilpailutekijät määritetään yleensä asiakaslähtöisesti, mutta yleisiä kilpailutekijöitä ovat hinta, laatu, tuoteominaisuudet, toimitusnopeus, toimitusvarmuus ja palvelu. Hinta ja laatu ovat usein tärkeimmät kilpailutekijät, koska asiakkaat vertailevat aina tuotteen virheettömyyttä ja palvelua saamansa hyödykkeen hintaan. /2, 356/

Kilpailutekijöiden perusteella tuotannolle voidaan asettaa tavoitteeksi kustannustehokkuus, laatu, aika ja joustavuus. Kustannustehokkuus on keskeisin tekijä tuotteen hintaan nähden. Tuotannon kokonaiskustannukset minimoidaan resurssien tehokkaalla käytöllä ja pitämällä toimintaan sitoutuneen pääoman määrä pienenä. Suurin osa toimintaan sitoutuvasta pääomasta kuluu materiaalihankintoihin. /2, 357/

Kustannustehokkuuteen voidaan vaikuttaa tuotannon korkealla laadulla, joka tarkoittaa tuotantoprosessin virheettömyyttä. Tuotantoprosessin virheistä aiheutuu aina kustannuksia, muutoksia suunniteltuun toimintaan ja ongelmia toimitusvarmuudessa. /2, 357/

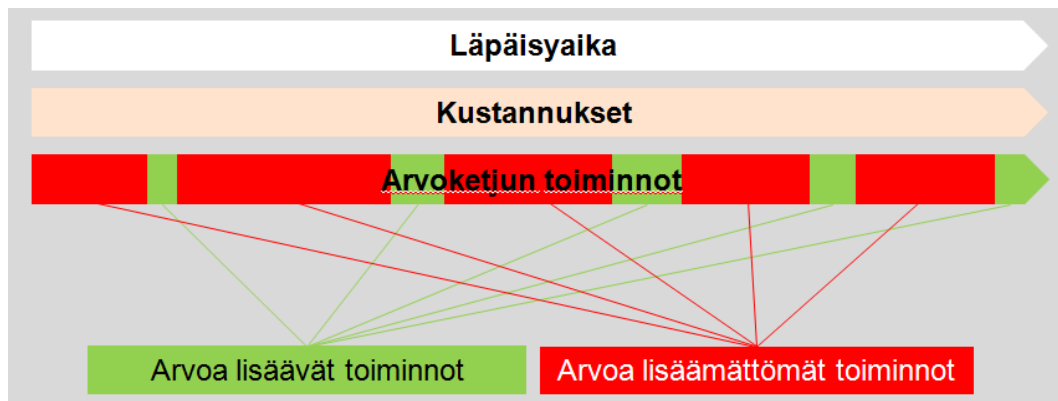
Wärtsilä on tunnettu vahvasta projektiosaamisestaan ja pystyy toimittamaan keski-kokoisen dieselvoimalaitoksen reilussa vuodessa sopimuksen allekirjoittamisesta.

Tällöin toimitusnopeuden ja toimitusvarmuuden asema yrityksen kilpailutekijänä korostuu entisestään.

### 3.5 Läpäisy aika

Yritykset seuraavat usein tuotannon läpäisyäikää koska on havaittu, että läpäisyajan lyhentäminen tehostaa tuotantoprosesseja, parantaa toiminnan laatua ja pienentää kustannuksia. Tuotannon joustavuus tarkoittaa nopeutta ja kustannustehokkuutta, jolla tuotantoprosessia voidaan muuttaa. /2, 401/

Termi läpäisy aika kuvaa aikaa, jonka toimintaketju vaatii. Läpäisyäikää mitataan usein kokonaisläpäisyäikana ja valmistuksen läpäisyäikana. Kokonaisläpäisy aika tarkoittaa aikaa, joka kuluu tilauksen saamisesta tilauksen toimitukseen. Valmistuksen läpäisy aika tarkoittaa aikaa, joka kuluu tuotteen valmistuksen aloittamisesta tuotteen valmistumiseen. Läpäisyajalla ei kuvata tuottavuutta, koska yleensä suuri osa ajasta kuluu odottamiseen ja arvoa tuottavat työajat ovat vain murto-osa kokonaisajasta. Kuvassa 1 tuotteen läpäisyäikää on kuvattu arvovirtaketjun avulla. Arvovirtaketjussa määritetään arvoa lisäävät ja arvoa lisäämättömät toiminnot. /2, 401/



**Kuva 1.** Tuotteen läpäisyajasta suuri osa kuluu arvoa lisäämättömään toimintaan. /6/

## **4 LAATU**

### **4.1 Laadun määritelmä**

Yleisesti ottaen laadun määrittely perustuu tuotteiden tai palvelujen keskeisiin ominaisuuksiin eli kuinka hyvin tuote tai palvelu täyttää sille ajatellun tehtävän. Käsitettä laatu on vaikea määritellä, koska määrittelyn tulokseen vaikuttaa arvioijan näkökulma. /1, 16–18/

### **4.2 Laatutekijät**

Nykyaikana laatuajattelu kuuluu yrityksen kaikkiin toimintoihin. Asiakkaan näkökulmasta laatu tarkoittaa kykyä täyttää asiakkaan tarpeet ja odotukset. Ostotilanteessa asiakas vertailee tuotteen laatua vaadittuun hintaan. /2, 372/

Asiakas arvioi tuotteen tai palvelun ominaisuuksia yleensä laatutekijöiden perusteella, esimerkiksi dieselmoottorin ostajan ostopäätökseen vaikuttavat suuresti laatutekijät, kuten suorituskky, lisäominaisuudet, yrityksen tai tuotteen imago ja erilaiset palvelut. /1, 21/, /2, 373/

Dieselmoottorin ostajalle tuotteen imago voi olla yksi merkittävä laatutekijä. Ostajalla on mielikuva tuotteesta, joka on suorituskkyinen, luotettava, kestävä ja vastaa vaadittuja standardeja. Palvelulle voidaan määrittää selkeät laatutekijät, joita ovat palvelun saatavuus tarvittaessa, asiakaskohtainen palvelu ja tarpeiden hallinta, henkilöstön asiantuntemus ja toimintaympäristö. Näihin kaikkiin asioihin voidaan vaikuttaa suunnittelemalla ja rakentamalla laatu osaksi toiminta- ja tuotantoprosesseja, koska pitkälle jalostetut prosessit tuottavat laadukkaita tuotteita ja tyytyväisiä asiakkaita. /2, 373/

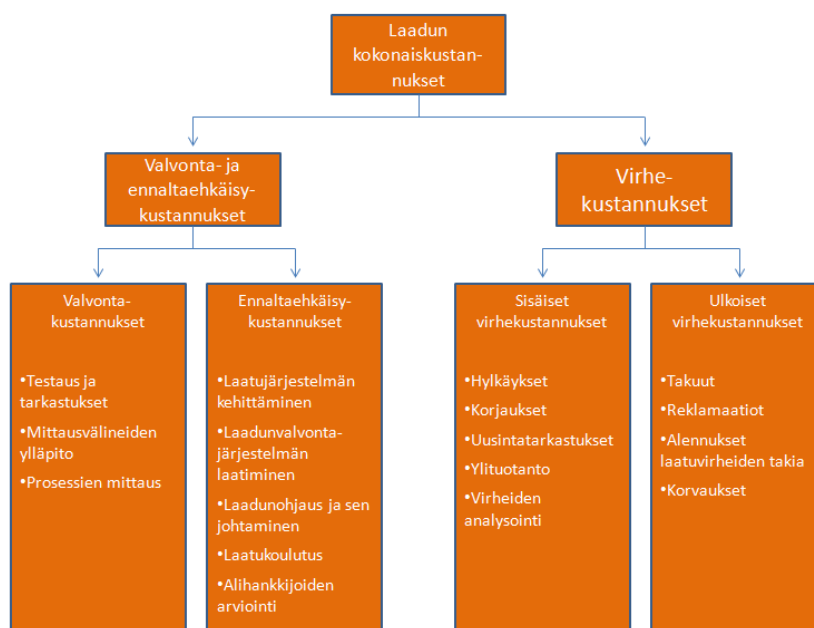
### **4.3 Laatukustannukset**

Laatukustannukset ovat kustannuksia, jotka aiheutuvat virhekustannuksista ja laatuvarmistamisesta. Tuotannon laatuongelmat johtuvat usein ongelmista tuo-

tantoprosessin kanssa, mikäli tuotantoprosessia ei tunneta tai hallita oikein, tuotantoprosessin edellyttämiä tehtäviä ei tehdä oikein tai ei ole selvitetty asiakkaiden odotuksia tai prosessien tavoitteita. /1, 31/

Korjaustoimenpiteet, uudelleenkokoonpano ja –tarkastus johtavat kustannusten kasvuun. Laaduttomat prosessit vaikuttavat myös kustannuksiin, joita on vaikea määrittellä rahallisesti. Näitä ovat yrityksen imagon heikkeneminen, toimitusaikojen ylittyminen ja mahdollisten kauppojen menetys. Kuvassa 2 laadun kokonaiskustannukset ovat eritelty valvonta- ja ennaltaehkäisykustannuksiin sekä virhekustannuksiin. /1, 31/

Joskus suunnittelulaatu käsitetään virheellisesti suunnittelun laaduksi, eli toiminnalliseksi virheettömyydeksi. Suunnittelulaatu kuitenkin harvoin syntyy rutiinomaisen ja organisoidun työskentelyn kautta. Valmistuslaadun kohdalla on pyrittävä säilyttämään saavutettu taso ja tekemään asiat jatkuvasti samalla tavalla. Tällöin tuotteiden laatu pysyy vakiona ja laaduttomuuskustannuksien syyt ja korjaustoimenpiteet ovat nopea toteuttaa. Laatu- ja laaduttomuuskustannuksiin on kuitenkin viisain vaikuttaa valvonnalla ja ennaltaehkäisevällä toiminnalla, jolloin virhekustannuksia ei pääse syntymään. /1, 28/



**Kuva 2.** Laadun kokonaiskustannusten muodostuminen. /1, 32/



#### 4.4 Laadunhallinta

Laadunhallinta kattaa yrityksen kaikki toiminnot ja laadunhallinnan keskeisinä elementteinä ovat

- asiakaslähtöisyys
- koko henkilöstön osallistuminen laadun kehitykseen ja ylläpitoon
- laatuvastuu
- ryhmätyöskentely
- henkilöstön osaamisen kehitys
- jatkuva parannus
- toiminta- ja menettelytapaohjeet.

Yrityksen kannalta yksi tärkeimmistä laadunhallinnan työkaluista on asiakaslähtöisyys. Tämä tarkoittaa asiakkaan saaman arvon maksimointia suhteessa yrityksen käyttämiin resursseihin. Yrityksen toimintaprosessit suunnitellaan siten, että tuotteet tai palvelut täyttävät valitun asiakasegmentin tuotteelle asettamat tarpeet mahdollisimman edullisesti. Asiakkaan saaman arvon maksimointi ja asiakkaalle lisäarvoa tuottava toiminta ovat lähtökohtia toimintaprosessin suunnitteluun. /2, 377–378/

Laadunhallinnassa henkilöstö on merkittävässä asemassa. Laatuajatteluun sitoutunut ja motivoitunut henkilöstö on edellytys laadun jatkuvaan kehitykseen, koska laatuajattelun monet tekniikat ja menetelmät liittyvät juuri henkilöstön osallistumiseen. /2, 379/

Laatuvastuu koskee yrityksen kaikkia toimintoja ja prosesseja, jolloin yrityksen jokainen henkilö on vastuussa tuotteen ja toiminnan laadusta. Laatuvastuu liitetään osaksi työnkuvaa, esimerkiksi laadun seuranta ja tarkastaminen liitetään osaksi valmistustehtävää. Tällöin raportointi laatupoikkeamista on nopeaa ja korjaavat toimenpiteet on mahdollista suorittaa nopeammin. /2, 379/

Ryhmätyö tarkoittaa kaikkien osallistuvien työntekijöiden vastuuta toiminnan laadusta ja sen kehittämisestä. Monimutkaiset tuotantoteknologiat ja pitkälle jalostetut

tuotantoprosessit vaativat usein koko ryhmän osallistumista laajempien kokonaisuuksien laatuun. /2, 379–380/

Henkilöstön osaamisen täytyy olla sellaisella tasolla, että se pystyy ottamaan vastuun toiminnan laadusta ja sen kehittämisestä. Varsinaisten työtehtävien osaamisen lisäksi henkilöstön täytyy osata ongelmanratkaisu- ja laadunkehityksen menetelmiä, jolloin laadultaan hyvien tuotteiden tai palvelujen tuottaminen onnistuu ongelmitta. /2, 380/

Jatkuvalla parantamisella tarkoitetaan toiminnan kehittämistä, joka tapahtuu pienin askelin. Toimintamallilla pyritään henkilöstön jatkuvaan osallistumiseen toiminnan kehittämisessä. Suuret muutokset eivät kuulu jatkuvan parantamisen piiriin vaan toimintamallin voima tulee pienten kehitysaskelien kumuloitumisesta. /2, 380/

Toiminta- ja menettelytapaohjeet sisältävät lyhyen kuvauksen tehtävästä ja asioista jotka tulee ottaa huomioon. Ohjeiden päämääränä on varmistua tuotantoprosessin virheettömyydestä. Nykyään pyritään välttämään liian yksityiskohtaisia ohjeita, mutta kuvauksen yksityiskohtaisuuden tulee olla sitä tarkempi, mitä virhealttiimpi prosessi on ja mitä suuremmat vahingot väärästä menettelytavasta saattaa aiheutua. /2, 387/

## 5 LEAN TUOTANTOFILOSOFIA

### 5.1 Yleistä

Lean-toimintamallin perusajatuksena on asiakkaalle arvoa tuottavan toiminnan maksimointi. Tämä tapahtuu poistamalla tuotantoprosesseista kaiken hukkaa aiheuttavan toiminnan, jolloin tuotantoprosessi nopeutuu ja tuottaa korkealaatuisia tuotteita kustannustehokkaasti. Hukkaa aiheuttavan toiminnan poistuessa tuotantoprosesseista yrityksen tuottavuus ja tehokkuus paranee, jonka johdosta yrityksen kilpailukyky kasvaa. /4, 519/

Lean-toimintamalli pitää sisällään erilaisia konsepteja, tekniikoita ja työkaluja. Lean-toimintamalli kuitenkin ymmärretään usein väärin ja luullaan, että toimintamalli itsessään ratkaisi tuotantoprosesseissa olevat ongelmat. Toimintamallin tarkoitus on kuitenkin kaivaa prosesseissa piilevät ongelmat esiin. Ihmisten tehtäväksi jää ratkoa esiin nostetut ongelmat. Riittävä ammattitaito, ongelmanratkaisukyvyt ja prosessituntemus ovat avainasemassa. /4, 519/

### 5.2 Hukan poistaminen

Lean-toimintamalli on perusajatukseltaan yksinkertainen, mutta vaikeasti selitettävissä. Helpoiten toimintamalli selittyy käsitteellä just-in-time (JIT), joka tarkoittaa tuotteen tai palvelun tuottamista juuri oikeaan aikaan (JOT). Toimintamallin tunnuspiirteenä on selkeä tuotanto, tehokkaasti järjestetyt materiaalivirrat ja tuotannonohjaus. Toimintamallilla pyritään lyhentämään asetusajoja, joka johtaa lyhyempään läpimenoaikaan. Lyhyen läpimenoajan ansiosta tuote- ja puolivalmistevara-  
rastoja voidaan pienentää tai tuote voidaan valmistaa tilauksen perusteella, jolloin varastoja ei tarvita ollenkaan. /4, 519–520/

Toimintamalli edellyttää tuotannolta korkeaa laatutasoa, koska laatuongelmat saattavat pysäyttää tuotannon kokonaan. Toimintamallin selkeyden ja nopeuden vuoksi ongelmat ja niiden juurisyyt ovat helposti havaittavissa. /2, 429/

Lähes ideaaliprosessin mukaan toimiva tuotantoprosessin tarkoituksena on poistaa tuotannosta kahdeksan selvitettyä tuhlausmuotoa ja ongelmaa jotka ovat

- ylituotanto
- odottelu
- viivästyksset
- tarpeeton kuljettaminen
- laatuvirheet
- tarpeettomat varastot
- ylikäsittely
- henkilöstön käyttämättä jääneet resurssit.

Ylituotanto on tuhlausmuodoista vaikuttavuudeltaan suurin, koska tällöin kesken-eräisiä tuotteita valmistetaan varastoon. Tarpeeton varastointi aiheuttaa varastointikustannuksia ja sitoo arvokasta pääomaa aiheuttaen myös pääomakustannuksia. Isot varastot lieventävät laatuongelmien, resurssien väärinkäytön ja epäluotettavien toimittajien vaikutusta tuotantoon. Tämän vuoksi ongelmakohtia on myös vaikeampi huomata. /4, 524/

Tuotannon läpimenoajan kannalta suurin osa ajasta kuluu odotteluun ja vain murto-osa toiminnasta tuottaa lisäarvoa. Erilaisia syitä odotteluun ja viivästyksiin ovat kapasiteetin epätasapaino, ongelmat materiaa livirtojen kanssa, materiaa livirheet ja laatuongelmat. Materiaalin ja työntekijöiden turha liikuttelu luo tuotantoprosessiin hukkaa, joka ei tuota lisäarvoa asiakkaalle. Tuotantoprosessien yhdistäminen samaksi prosessiksi, kuljetustapojen muutokset ja työn suorituspaikan organisointi voivat auttaa hukan vähentämisessä. /4, 524–525/

Laatuvirheet johtavat usein tarpeettomiin varastoihin. Varastojen ylläpito aiheuttaa kustannuksia ja sitouttaa ylimääräistä pääomaa. Laatuvirheet aiheuttavat myös nousua sisäisissä- ja ulkoisissa virhekustannuksissa sekä asiakastytymättömyyttä ja vahinkoa yrityksen imagossa. Ylikäsittelty tuote sisältää asiakkaan kannalta merkityksettömiä vaiheita ja parhaaseen lopputulokseen päästän usein käyttämällä yksinkertaisia työtapoja ja laitteita. /4, 525/

### 5.3 Wärtsilä Lean

Wärtsilä Lean-toimintamallin tarkoituksena on saada Lean-periaatteet osaksi kaikkia prosesseja. Perimmäisenä tarkoituksena on täyttää asiakkaan odotukset ja tarpeet käyttämällä vähemmän resursseja tunnistamalla ja poistamalla prosesseista kaikki asiakkaalle arvoa tuottamattomat toiminnot. /6/

Hanke käynnistyi vuonna 2009 koskien ainoastaan silloista Wärtsilä Industrial Operations-liiketoimintasegmenttiä. Tämän jälkeen Lean-toimintamalli laajennettiin vaiheittain osaksi yrityksen kaikkia toimintoja. /6/

Wärtsilä Lean-malliin (**Kuva 3.**) kuuluu viisi eri osa-aluetta. Osa-alueet ovat ihmiset, strategian jalkauttaminen, arvoketjun johtaminen, laajennettu liiketoiminta sekä työkalut ja tekniikat. Strategiassa ihmiset ovat tärkeimpänä tekijänä ja heidän vastuulleen jää toteuttaa neljä muuta osa-aluetta. Toimintatapojen muutokset tehdään ja ylläpidetään mahdollisimman yksinkertaisilla ja tehokkailla menetelmillä. /6/



**Kuva 3.** Wärtsilä Lean-toimintamallin osa-alueet. /6/

## 5.4 5S

5S-työkalu on osa Wärtsilän Lean-toimintamallia. Työkalun viidellä vaiheella pyritään siihen, että työpisteessä on vain välttämättömät työkalut ja tavarat. Jokaiselle työkalulle on määritetty oma paikkansa. Lisäksi työskentely-ympäristön tulee olla siisti ja visuaalisesti miellyttävä. /6/

5S-malli koostuu viidestä osasta ja tulee englanninkielisistä sanoista (**Kuva 4.**)

- luokittele (Sort)
- järjestä (Set)
- siivoa (Shine)
- vakiinnuta (Standardize)
- ylläpidä (Sustain).

Luokitteluvaiheessa tunnistetaan prosessista ne osat joita käytetään useasti (tiedot, työkalut, tarvikkeet ym.). Lisäksi tutkitaan työpisteen kaikkien materiaalien käyttötarkoitus. Harvemmin käytettyihin osiin kohdistetaan Lean-toimet, eli kaikki turha hävitetään työpisteistä. /4/

Järjestelyvaiheessa useasti käytetyt prosessin osat järjestetään siten, että ne ovat mahdollisimman helposti ja nopeasti saatavilla. Samalla jokaiselle osalle merkitään oma fyysinen säilytyspaikka. /4/

Siivoamisvaiheessa sovitaan työyhteisön ja yhteistyökumppaneiden kanssa yhteiset pelisäännöt, joiden avulla työympäristö pysyy siistinä. Samalla työpiste siivotaan perusteellisesti, luodaan selkeät ja yksinkertaiset siivoamisohjeet sekä selvitetään likaantumisen syyt ja pyritään näiden eliminointiin. /4/

Vakiinnuttamisvaiheessa toimintaohjeet dokumentoidaan ja laitetaan selkeästi näkyville. Jokaiselle tavaralle merkitään oma paikka ja työkaluille piirretään äärivii-vat säilytyspaikkaan. Ylläpitovaiheessa pohditaan toimia, joilla parannettua toiminta-ympäristöä voidaan ylläpitää. /4/

Linjakokoonpanossa kaikki viisi vaihetta ovat toteutettu aikaisemmin. Siisteyttä ylläpidetään viikoittaisella 5S-kierroksella. Kierroksella kiinnitetään huomiota epäsiisteyteen, epämääräisiin tavaroihin ja työturvallisuuspuutoksiin. Kaikki epäkohdat kirjataan ylös 5S-lomakkeeseen. Työpisteen siivoaminen ja työkalujen palautus otettiin osaksi työvaiheita, jolloin siisteyden ylläpito on yksi pakollisista työtehtävistä. /6/



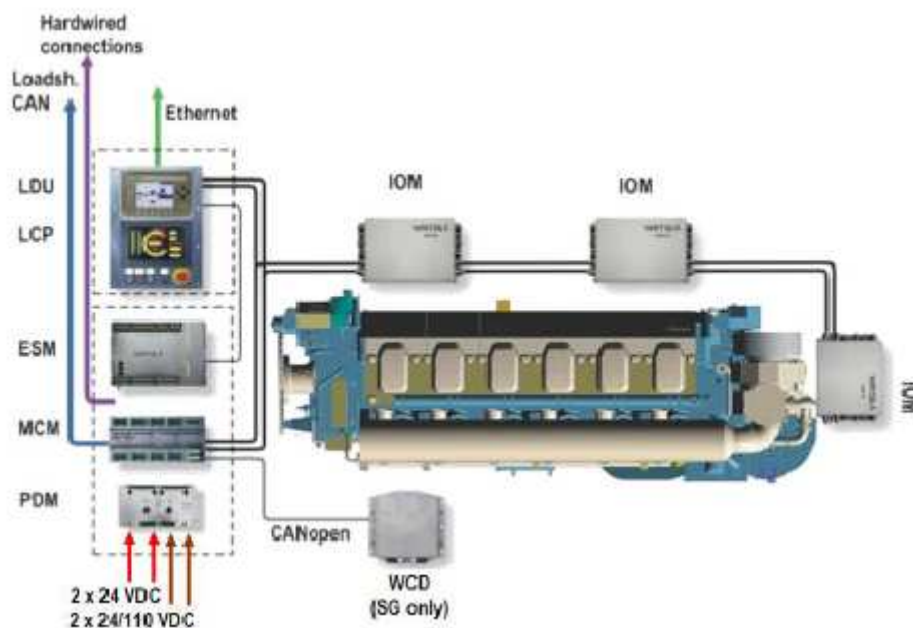
**Kuva 4.** 5S-mallin mukaiset työkalupisteet /6/

## 6 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

### 6.1 UNIC-C2 moottorinohjausjärjestelmän kuvaus

Lyhenne UNIC-C2 tulee sanoista Wärtsilä Unified Controls. UNIC-C2 automaatiojärjestelmä on sulautettu moottorinohjausjärjestelmä ja sen rakenne on modulaarinen. Kuvassa 5 on yleiskuva UNIC-C2 moottorinohjausjärjestelmästä. Järjestelmän avulla hallitaan moottorin käynnistys- ja sammutustoiminnot sekä nopeus- ja tehonsäätö. Järjestelmän komponentit kiinnitetään suoraan moottoriin, jolloin ulkoisia liitännöitä ja kaapelointia tarvitaan vähemmän. Modulaarinen suunnittelu mahdollistaa täysin testatun moottorin toimittamisen asiakkaalle, jolloin asennus ja käyttöönotto nopeutuvat työmaalla. Erityistä huomiota on kiinnitetty korkeaan lämpötila- ja värinäsietoon, jonka ansiosta järjestelmä soveltuu hyvin vaativiin olosuhteisiin. /8/

Järjestelmä sisältää LCP, MCM, IOM, ESM ja PDM-moduulit. Moduulit ovat yhdistetty toisiinsa CAN-automaatioväylällä. CAN-väylässä kaikki liikenne välitetään kaikille moduuleille. Jokaisella viestillä on sanomatunniste, jonka perusteella vastaanottava moduuli päättää kuuluuko viesti sille vai ei. /8/



**Kuva 5.** Yleiskuva UNIC C2-järjestelmästä. /7/



Toimintatapa mahdollistaa mittausdatan välittämisen reaaliaikaisesti usealle laitteelle. CAN-väylässä viestiä ei lähetetä millekään tietylle solmulle, vaan lähetettyä viestiä tarvitsevat solmut ottavat sen vastaan. CAN-väylän monitorointi on helppoa ja ylimääräisen kuuntelijan lisääminen ei vaikuta muihin toimintoihin. /8/

Väylän kaapelointiin käytetään kaksinapaista kierrettyä parikaapelia. Väylän nopeutta voidaan muuttaa 10kbit/s ja 1Mbit/s välillä. Suurempi nopeus vaikuttaa väylän maksimipituuteen ja väylä on myös häiriöalttiimpi. /8/

CAN-väylässä käytetään kilpavarausmenetelmää, joka tarkoittaa että solmut voivat lähettää sanomia väylälle aina kun se on vapaa. Useamman solmun yrittäessä lähettää viestiä samaan aikaan, tunnistekentältään pienin on prioriteetiltaan suurin ja pääsee väylälle ensimmäisenä. /8/

Moottorin mittaustiedot ja parametrit saadaan siirrettyä helposti ulkoiseen järjestelmään CAN-väylän tai TCP/IP protokollan avulla. /8/

LCP – Local Control Panel sisältää kaksi graafista käyttöliittymää (WIP-10 & LDU) sekä paikallisohjauspainikkeet ja käyttötilan valintakytkimen. Graafisten käyttöliittymien avulla saadaan esille moottorin tärkeimmät mittaustiedot, käyttö- ja vikatilat sekä tapahtumaloki. Pääkeskuksessa sijaitsee myös ESM, MCM ja PDM. Varsinkin merisovelluksissa pääkeskus toimii käyttöliittymänä käynnistys- ja sammutustilanteissa sekä tarkasteltaessa eri mittaustietoja tai vikatiloja. /8/

MCM – Main Control Moduulin päätehtävä on suorittaa moottorin nopeuden- ja tehonsäätö voimalaitos ja merisovelluksissa käytetystä säätötavasta riippuen. Lisäksi MCM ja ESM suorittavat sulautetusti moottorin käynnistys- ja pysäytys-sekvenssit. /8/

ESM - Engine Safety moduuliin liitetään kaikki moottorin turvalliseen käyttöön liittyvät mittaukset kuten voiteluöljyn paine, jäähdytysveden lämpötila ja moottorin pyörimisnopeus. ESM toimii pääasiassa käyttöliittymänä turvallisuuteen ja moottorin pysäyttämiseen liittyvissä mittauksissa ja toiminnoissa. Moduulissa on myös neljälle ulkoiselle pysäytystoiminnolle liitännät. /8/

PDM - Power Distribution moduulin tehtävänä on suodattaa muille moduuleille jaetusta sähkönsyötöstä haitalliset ylijännitteet ja transientit pois. Laite on varustettu maasulkudiagnostiikalla ja se on kahdennettu. Kahdennuksen ansiosta sähkönsyöttö on turvattu vikatilanteissakin. /8/

IOM - Input / Output moduuleihin liitetään moottorin kaikki digitaaliset ja analogiset mittaukset. Erilaisia mittauksia ovat esimerkiksi runkolaakerin lämpötilan mittaust K-tyypin termoparilla tai PT100-lämpötilamittaukset. Painemittaukset toimivat 4-20 mA virtaviestillä. IOM moduulissa on myös tietty määrä digitaalisia ja analogisia lähtöjä, jolloin venttiilejä voidaan ohjata digitaalisesti auki/kiinni asentoon tai analogisesti tiettyyn asentoon. /8/

## **6.2 Rakenne**

Automaatiojärjestelmä rakennetaan lähes samoista komponenteista moottorityypistä ja -koosta riippumatta. Tällöin varastot pysyvät helpommin hallittavissa, kustannukset kurissa ja varaosat ovat helposti saatavissa pienen valikoiman johdosta.

Standardoidun modulaarisen rakenteen integroiminen osaksi moottorin rakennetta lähelle mittauspisteitä minimoi kaapeloinnin määrän ulkoisiin järjestelmiin. Tällöin myös käyttöönotto ja asennustyö nopeutuvat työmaalla huomattavasti, koska moottorinohjausjärjestelmä voidaan testata täydellisesti jo tehtaalla koeajon yhteydessä.

Modulaarinen rakenne helpottaa siirtymistä automaatiotasojen välillä. Mikäli asiakas tilaa aluksi perinteisen UNIC-C1 moottorinohjausjärjestelmällä varustetun moottorin, on seuraavaan automaatiotasoon siirtyminen melko helposti toteutettavissa. Perinteisessä järjestelmässä jokaisesta moduulista lähtee kaapeli ulkoiseen järjestelmään, johon mittaustiedot välitetään. Kehittyneemmässä UNIC-C2 järjestelmässä tieto moduulien välillä kulkee CAN-väylää pitkin keskukselle. Mittaustiedot voidaan välittää ulkoiseen järjestelmään TCP/IP protokollan avulla.

### 6.3 Anturit ja toimilaitteet

IOM-moduuleihin liitetään yleensä toimintatavaltaan erilaisia antureita (**Kuva 6.**), joiden avulla mitataan painetta, lämpötilaa tai toimilaitteen asentoa. Moduulissa on 16- tulokanavaa ja tuloviesti voi olla tyypiltään jänniteviesti (mV) tai virtaviesti (mA). Moduulissa on lisäksi kaksi analogista 4-20/200 mA lähtökanavaa sekä neljä digitaalista tulo- ja lähtökanavaa. /8/

Lämpötilan mittauksessa yleisesti käytettyjä anturityyppejä ovat K-tyypin termoparit ja PT100-anturit. Paineen mittauksessa yleisesti käytettyjä anturityyppejä ovat ulkoisella mittauskalvolla varustetut painelähettimet. /8/

PT100-vastusmittaus perustuu materiaalina olevan platinan resistanssin muutokseen lämpötilan funktiona. PT100-anturin resistanssi on  $100\Omega$  lämpötilan ollessa  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Antureiden mitta-alue on yleensä  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja sähköisesti 4-20 mA. PT100-antureiden mitta-alue on melko lineaarinen. Mittaustarkkuus kuitenkin heikkenee lämpötilan noustessa. PT100-anturit ovat halpoja, yleisesti käytettyjä ja tarkkoja.

Korkeita lämpötiloja mitattaessa siirrytään käyttämään K-tyypin termoparia. Termopari muodostetaan kahdesta eri metallista tai metalliseoksesta, jotka ovat hitsattu termoelementin päästä yhteen. Hitsattuun päähän muodostuu ns. termoelementti ja vapaat päät muodostavat vertailuliitoskohdan. Jos hitsauskohdan ja vertailupisteen välillä vallitsee lämpötilaero, syntyy termoelementissä lämpösähkömotorisen voiman vaikutuksesta jännite. Jännitteen suuruus on suoraan verrannollinen vertailupisteen ja liitoskohdan välillä olevaan lämpötilaeroon. Yleisin metallipari on kromi/nikkelin ja alumiini/nikkelin seos. Anturin mitta-alue on  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $+750\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja toleranssi  $\pm 0,0075\%$  mittaustuloksesta. Mittaus tulee tulokanavaan 0-40 mV asteikolla. Anturityyppi on yleisesti käytössä erilaisissa sovelluksissa ja se on halpa.

Pinelähettimen toimintaperiaate on myös melko yksinkertainen. Mitattava paine koskettaa painelähettimen ulkoista mittauskalvoa, jolloin kalvo pullistuu paineen vaikutuksesta. Painelähettimen sisällä oleva öljy välittää paineen sisäiselle mittauskalvolle, jolloin mittauskalvon pinnalle kiinnitetyt venymäliuskat venyvät kalvon

pullistuessa. Venymä aiheuttaa resistanssin, joka muutetaan sähköiseksi virtavies-  
tiksi alueella 4-20 mA.

Wärtsilässä yleisesti käytössä oleva painelähetintyyppi on suoraan moottoriloh-  
koon kiinnitettävä painelähetin. Antureita on saatavilla laajalle mittausalueelle 0-  
600 bar. Mittavirhe on noin 0,3 % mittaustuloksesta. Pinalähettimen tyyppi on  
yleisesti käytetty merisovelluksissa ja omaa korkean EMC-suojausluokan. /8/

Yleisiä lämpötilan mittauskohteita ovat pakokaasun lämpötila, HT/LT veden läm-  
pötila, runkolaakerien lämpötila ja turboahtimen sisään tulevan ilman lämpötila.  
Yleisiä painelähettimen käyttökohteita ovat öljynpaineen-, sylinterinpaineen, pilot-  
tipolttoaineen- ja ohjausilman painemittaukset.



**Kuva 6.** Lohkoon kiinnitettävä painelähetin, termopari ja PT100-anturi. /8/

## 7 AUTOMAATIOASENNUSTEN TUOTANNOLLISTAMINEN

### 7.1 Alkutilanne

Wärtsilä 32E-moottorimalli on uusi lisäys W32-tuoteportfolioon. Moottori on nelitahtinen turboahdettu, polttoaineen suoraruiskutuksella ja ahtoilman jäähdytyksellä varustettu dieselmoottori. Se on tarkoitettu käytettäväksi pääasiassa päämoottorina tai apumoottorina laivoissa. Moottorimalli esiteltiin vuonna 2011 ja moottorimallin tuotanto sekä toimitukset alkoivat vuonna 2012.

W32E-moottorimalli on lähes identtinen vanhempaan W32D-moottorimalliin verrattuna. Suurin ero moottorimalleissa toisiinsa nähden on W32E-moottorimallin suurempi ahtopaine, jolla saavutetaan noin 16 % suurempi sylinterikohtainen tehontuotto. W9L32E-dieselmoottorin tehontuotto on noin 5,2 MW kun W9L32D-moottorin tehontuotto on noin 4,5 MW. Suuremman ahtopaineen vuoksi sylinterinkannen, laakerien, kampiakselin, kiertokangen ja männän rakenteita on jouduttu vahvistamaan. Suurin osa muutoksista ovat mekaanisia muutoksia.

Automaation osalta moottorissa ei ole suuria eroavaisuuksia edeltäjiinsä nähden. Molemmissa moottorimalleissa käytetään UNIC-C2 moottorinohjausjärjestelmää. W32D-moottorimallissa sylinteriholkin- ja kampilaakerin lämpötilanmittaukset eivät kuuluneet perusmalliin mukaan vaan ovat olleet ns. lisävaruste. W32E-moottorimallissa nämä mittaukset kuuluvat perustoimitukseen.

Opinnäytetyön aiheena oli laatia toimintamalli uuden WL32E-moottorimallin automaatioasennusten tuotannollistamiseen. Tuotannollistamisella tarkoitetaan tuotannon edellytysten varmistamista ja tämä pyrittiin turvaamaan laatimalla työohjeistus sekä työvaiheistus automaatioasennuksista.

Moottorin kokoonpano tapahtuu linjamuotoisessa kokoonpanossa, jossa on kaksi linjaa ja kussakin linjassa seitsemän vaihetta. Vaiheet 1-4 ovat lähes yksinomaan mekaanisia töitä. Erilaisia mekaanisia työvaiheita ovat lohkon puhdistus, runkolaa- kereiden, kiertokangen, nokka-akselin ja öljyaltaan asentaminen lohkoon. Tämän

jälkeen moottoriin asennetaan männät, vauhtipyörä, käynnistysilma-, voiteluöljy- ja turboahdinmoduulit. Moduulit ovat melko suuria kokonaisuuksia ja ne kootaan sekä koestetaan erillisellä moduulitehtaalla. Moduulitehtaalta ne toimitetaan linja-kokoonpanoon asennettavaksi.

Vaiheissa 5-7 on moottorin automaatioasennusten kokoonpano. Kokoonpanon kannalta oleellisia osia ja moduuleita ovat sähkökeskus, sivuluukkumoduuli, voiteluöljy- ja turboahdinmoduulin antureiden asentaminen sekä kaapeleiden vetäminen ja kytkentä. Mekaanisia työvaiheita ovat mm. sylinterikansien laskeminen, HT- ja LT-vesiputkien sekä pakoputken eristyslaatikon ja suojaluukkujen asentaminen. Viimeisessä vaiheessa moottori koestetaan sähköisesti ja koeponnistetaan paineilmalla.

Mikäli asiakas haluaa generaattorin asennuksen toimitukseen, siirtyy moottori generaattoriasennusvaiheeseen. Generaattoriasennuksen päätteeksi generaattorin mitaukset voidaan yhdistää moottorinohjausjärjestelmään asentamalla generaattoriin IO-moduuli ja liittämällä se CAN-väylään.

## **7.2 Tutustuminen**

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin tammikuun alussa, jolloin pidettiin myös aloituspalaveri. Palaveriin osallistui opinnäytetyön ohjaajat Vaasan ammattikorkeakoululta ja toimeksiantajalta. Opinnäytetyön aihe hyväksyttiin ohjaavalla opettajalla jo aikaisemmin. Aloituspalaverissa käsiteltiin asioita, joiden pohjalta opinnäytetyö kirjoitettiin. Työn aihepiiri rajattiin viimeisen kerran ja aiheeksi tuli WL32E-moottorimallin automaatioasennusten tuotannollistaminen. Lopputuloksena saatiin toimintamalli automaatioasennusten tuotannollistamiseen. Toimintamallin lisäksi laadittiin erillinen työohje ja työvaiheistusohje.

Työ aloitettiin lukemalla erilaisia teollisuus- ja tuotantotalouden teoksia. Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin viikolla 1. Kenttätutkimus suoritettiin viikoilla 3-5.

### 7.3 Projektin aloittaminen

Projekti aloitettiin tutkimalla vanhoja työohjeita sekä tutkimalla piirustuksia ja kyt-kentäkuvia moottorikohtaisesta erittelystä. Etenkin W32D-moottorimallin työoh-jeet ja vaiheistukset osoittautuivat hyödyllisiksi, koska automaatiojärjestelmä on lä-hes samanlainen W32E-moottorimallissa lukuun ottamatta muutamia lisäyksiä. Li-säksi molemmat vertailumoottorit olivat W9L32-malleja.

Vanhan W9L32D-moottorimallin työvaiheistuksen ja piirustusten pohjalta laadit-tiin alustava työvaiheistus. Työvaiheistuksen laadinnassa otettiin huomioon eri työ-vaiheiden resurssien tarve, tehokas käyttö ja vuorotyön vaikutukset resursseihin. Työvaiheet jaettiin siten, että resursseja vaativat työt sijoitettiin vaiheistuksen al-kuun. Tämän jälkeen tehtävät jaettiin siten, että tarpeetonta siirtymistä ja työkalujen liikuttelua pyrittiin välttämään.

Työvaiheistuksen laatimisen ja moottorierittelyn materiaalisettien pikaisen tarkas-tamisen jälkeen siirryttiin tutkimaan kokoonpanovaihetta. Kokoonpanovaiheen ai-kana tehtiin muistiinpanoja ongelmatilanteista, vaiheistuksen toimivuudesta sekä puutteista. Valokuvat ja muistiinpanot osoittautuivat tärkeiksi työohjeita laaditta-essa.

Vanhoja työohjeita tarkasteltaessa ilmeni ongelmalliseksi ohjeiden hajanaisuus. Osa työohjeista on ladattu Wärtsilä Integrated Document Databaseen (IDM) ja osa työohjeista on linjakokoonpanon sisäisiä ohjeita ja sijaitsevat verkkopalvelimella. Heräsi ajatus kootusta työohjeesta, joka sisältää automaatioasennusten kannalta yleisiä asioita työkohtaisten ohjeiden lisäksi.

### 7.4 Työvaiheohjeen laatiminen

Työvaiheohjetta laatiessa käytettiin hyväksi Lean-toimintafilosofian oppeja. Työ-vaiheohjeen perusajatuksena oli automaatioasennusten läpäisyajan lyhentäminen. Optimaalisen toimintamallin ja työjärjestyksen luomisella pyrittiin eliminoidaan hukkaa aiheuttavia asioita kuten odottelua, viivästyksiä, tarpeetonta kulkemista, ylikäsittelyä ja henkilöstön käyttämättä jääneitä resursseja. Työohjeen avulla pyrit-tiin vaikuttamaan laadun tasoon.

Työvaiheohjeen kaavamainen noudattaminen sekä työtapojen yhdenmukaisuus on tuotannon kilpailutekijöiden kannalta tärkeää. Työjärjestyksen kaavamaisuuden ja työvaiheiden toiston kautta tapahtuvan oppimisen tarkoituksena on nopeuttaa työvaiheiden suorittamista.

Työtapojen yhdenmukaisuudella sekä selkeillä työ- ja toimintatavoilla laatu voidaan vakioida. Tällöin laaturaportit ovat helposti huomattavissa ja korjaavat toimenpiteet voidaan suorittaa nopeasti. Selkeästi mietityllä työjärjestyksellä ja toimintamallilla resurssit voidaan kohdistaa kustannustehokkaasti.

Ylikäsittelystä pyrittiin pääsemään eroon järkevällä työjärjestyksellä. Tästä esimerkkinä kiertokangen laakerien lämpötilan mittausjärjestelmän kaapeloinnin asentaminen ennen öljymoduulin kaapelointia, koska kaapelit kulkevat samalla kaapelireitillä. Mikäli öljymoduulin kaapelit asennetaan ennen kiertokangen laakerien lämpötilan mittausjärjestelmän kaapelointia, joudutaan kaapelireitin kiinnikkeet purkamaan ja kaapelit niputtamaan uudelleen.

Automaatioasennusten kokoonpano on jaettu kolmeen eri vaiheeseen. Kunkin vaiheen läpäisyajaksi on määritetty 16 tuntia, joka lasketaan toteutuneen työajan perusteella. Automaatioasennusten työvaiheet ja resurssien tarve täytyi suunnitella siten, että 16 tunnin läpäisy aika toteutuu. Läpäisyajan ylitys seisauttaa seuraavien moottoreiden valmistusprosessin. Tämä aiheuttaa myös ongelmia moottoreiden koeajoaikataulussa. Viivästykset tuotannossa saattaa aiheuttaa suuria ongelmia toimitusvarmuudessa ja yrityksen imagon arvон heikkenemistä asiakkaiden näkökulmasta.

Kenttätutkimuksen aikana työvaiheiden yksityiskohdat ja työvaiheen suorittamiseen kulunut aika kirjattiin muistiin. Muistiinpanoja käytettiin avuksi resurssien tarpeen määrittelyssä. Työvaiheiden järjestykseen vaikuttivat olennaisesti työvaiheiden prioriteetti sekä työvaiheiden fyysinen sijainti.

Työpisteen siivoaminen ja työkalujen palautus otettiin osaksi työprosessia 5S-toimintamallin mukaisesti. Wärtsilä panostaa työturvallisuusasioihin ja tavoitteena on



nolla (0) työtapaturmaa vuodessa. Siisti ja järjestyksessä oleva työympäristö vaikuttaa oleellisesti työn tehokkuuteen ja auttaa ehkäisemään työtapaturmia.

## **7.5 Työohjeen laatiminen**

Aikaisemmat työohjeet ovat olleet rakenteeltaan Powerpoint-pohjaisia kalvoesityksiä tai Word-muotoisia selostuksia. Aihepiirin laajuuden vuoksi päädyttiin Word-pohjaiseen selostukseen.

### **7.5.1 Automaatioasennusten yleiset työohjeet**

Työohjeen rakennetta lähdettiin rakentamaan siten, että otsikointi vastaisi mahdollisimman paljon työvaiheohjeen otsikoita ja rakennetta. Työohjeen alkuun kirjoitettiin kappale automaatioasennusten yleisistä sähkötöistä. Viittauksia yleisistä työvaiheista käytettiin työvaihekohtaisessa työohjeessa. Tällä pyrittiin pääsemään eroon turhasta toistosta ja selkeyttämään rakennetta. Työohjeen lähteenä käytettiin Wärtsilän sisäisiä dokumentteja.

Yleisiä työvaiheita ovat

- piirustusten hakeminen
- lohkon tulevien antureiden asennus
- kaapelointi
- sisäiset johdotukset ja kytkennät
- maadoitus ja parisuojaus.

Piirustukset- ja kytkentäkaaviot tulee hakea aina automaatioasennuksia aloittaessa Wärtsilän WDMS-järjestelmästä. Työohjeessa on kerrottu mitä tietoja piirustusten hakemiseen tarvitaan, mistä piirustukset löytyvät ja mitä piirustuksia yleensä tarvitaan.

Kaikki anturit asennetaan pääasiassa moottorilohkoon. Yleisimmin käytettyjä anturityyppejä ovat PT100-anturit, termoparit, painelähettimet ja induktiiviset rajakyt-

kimet. Työohjeessa kerrotaan lyhyesti miten paineanturi, lämpöanturi ja induktiivinen rajakytkin asennetaan ja mitä tulee ottaa huomioon. Yksityiskohdat kuten ki-ristysmomentit tai erilaiset etäisyydet kehoitetaan tarkistamaan piirustuksista.

Kaapeloinnin työohjeessa selostetaan yleisiä asioita mitä tulee ottaa huomioon. Kaapelointiin liittyviä asioita ovat

- kaapelireitti
- kaapeleiden kiinnittäminen
- taivutussäde
- kaapelireitin valinta lämpötilan ja värinöiden suhteen
- kaapeli- ja lohkomerkit.

Kaapelireitti suunnitellaan siten että, kaapeli on pituudeltaan mahdollisimman lyhyt. Vahvavirta- ja heikkovirtakaapeloinnin kuljettamista samassa nipussa tulee välttää häiriöiden indusoitumisen vuoksi. Kaapeleihin on aina päästävä käsiksi myös moottorin käydessä. Moottorin muotoja käytetään hyväksi, jolloin saadaan hyvä fyysinen suoja ja kiinnitysmahdollisuudet. Kaapeli viedään kytkentärasialle mieluiten alakautta tai sivusta, mutta ei koskaan päältä. Menettelyllä vältetään nesteidien pääseminen kytkentärasian sisään läpiviennin kautta. Jos kaapeli viedään korkealämpötilaisen kohteen yli, täytyy kaapelin suojana käyttää taipuisaa panssariputkea.

Kaapeleiden kiinnityksestä ja niputuksesta kerrottiin kiinnityspisteiden etäisyys, erilaiset kaapelikiinnikemallit sekä toimintaohje yksittäisten- ja kaapelinnippujen kiinnitykseen. Ohjeessa kerrottiin miten kaapelityypin taivutussäde tarkistetaan sekä taivutussäteen vaikutus kaapeliin.

Ympäristön lämpötila vaikuttaa kaapelin elinikään. Kaapelin elinikä on kääntäen verrannollinen lämpötilaan. Korkeassa lämpötilassa kaapelin ja johtimien eristys vanhenee nopeammin. Kaapelit kestävät suuriakin värinöitä, mikäli amplitudi on pieni. Ohjeessa on selvitetty miten kaapelin suurin käyttölämpötila selvitetään.

Kaapelit merkitään aina molemmista päistään piirustusten mukaisesti. Kaapelimerkin lisäksi lohkoon kiinnitetään lohkomerkki, joka vastaa anturin tai toimilaitteen ISO-koodia. Ohjeessa kerrottiin kaapeli- ja lohkomerkkien oikeaoppinen kiinnitystapa. Sisäisten johdotusten ja kytkentöjen osalta oleellisia asioita ovat

- kaapelin sisäänotto kytkentärasialle
- johtimen reititys, päättäminen ja merkitseminen
- kutistesukan käyttäminen.

Kaapelin sisäänotossa oleellisia työvaiheita ovat kaapelin lyhentäminen, kuoriminen, kaapelisuojan mitoittaminen oikean pituiseksi ja kaapelin asentaminen läpivientiin (**Kuva 7**). Ohjeessa on kerrottu miten työvaiheet tehdään ja mitä asioita täytyy ottaa huomioon.



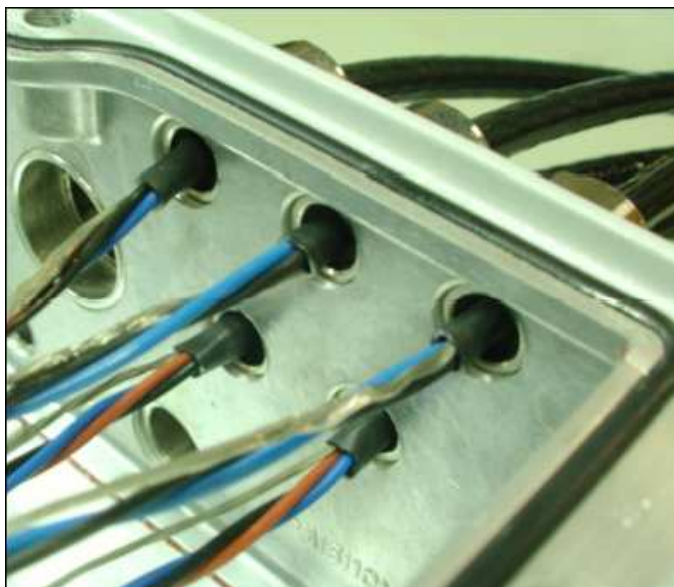
**Kuva 7.** Kaapelisuojan lyhentäminen oikean mittaiseksi.

Johtimien reitityksessä täytyy huomioida, että vahva- ja heikkovirtajohtimet kuljetetaan eri johtonipuissa. Signaaliparit on hyvä kiertää aina yhteen, jolloin ne vievät vähemmän tilaa ja ovat vähemmän alttiita häiriöille. Johtimet kuljetetaan aina johdotkanavissa tai kiinnitetään kiinnitysrimoihin nippusiteillä.

Johtimien huonot liitokset ovat usein syynä erilaisiin vikoihin. Johtimen kuorimiseen pitää aina käyttää kuorintapihtejä. Holkin koko valitaan johtimen pinta-alan mukaan ja puristetaan holkituspihdeillä johtimen päälle. Säikeitä ei saa olla liitoksen ulkopuolella ja liitoksen pitää kestää pientä vetoa. Johdin merkitään piirustusten mukaisesti merkintänauhalla.

Kutistesukan yleisiä käyttökohteita ovat johtimen suojaaminen läpiviennin jälkeen (**Kuva 8**), parisuojan mekaaninen ja sähköinen suojaaminen moduulien sisällä sekä

suojaaminen teräviltä kulmilta. Sopivan kutistesukan koko on kaksinkertainen suojattavan kohteen halkaisijaan verrattuna. Kutistesukkaa pitää kuumentaa kauttaaltaan, jolloin se asettuu paremmin. Liian läheltä kuumennettaessa on vaara, että kaapelin tai johtimien eristeet voivat vaurioitua.

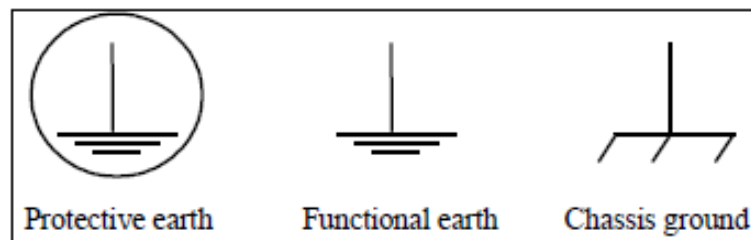


**Kuva 8.** Kutistesukan käyttäminen johtimien suojaamiseen kytkentärasian läpiviennissä.

Maadoituksen tarkoituksena on ehkäistä ja johtaa haitalliset häiriöt maahan. Toisaalta maadoituksella myös estetään metallisten osien tulemistä jännitteelliseksi viikatilanteissa.

PE-merkinnällä tarkoitetaan kaikkia luokan 1 sähkölaitteita. Esimerkiksi jännitteisen johtimen eristämättömän osan koskettaessa runkoa, virtapiiri sulkeutuu matalaimpedanssisen reitin kautta maahan. Korkean vikavirran ansiosta suojaus toimii nopeasti. Toiminnallisella maalla tarkoitetaan esimerkiksi jännitesyötön nollalaitintä, jonka kautta virtapiiri pääsee sulkeutumaan ja toimimaan tarkoituksenmukaisesti. Toiminnallista maata ei siis käytetä suojaukseen. Chassis ground merkinnällä tarkoitetaan pistettä, jossa moottorilohko yhdistetään maahan. Kuvassa 9 on maadoitustapojen piirrosmerkit.

Moottorilohkoa käytetään yhdistämään kaikkien laitteiden maadoituspisteet samaan potentiaaliin. Yhteisen potentiaalipisteen avulla ehkäistään potentiaalieroja eri pisteissä. Jokaisen kaapelin kaapelisuoja yhdistetään kaapeliläpivientiin molemmista päistään. Parisuoja liitetään maadoitukseen vain yhdestä pisteestä. Mikäli parisuoja liitetään maadoitukseen molemmista päistään, on tuloksena suljettu virtapiiri. Virtapiiriin voi indusoida virtoja, jotka aiheuttavat häiriöitä mittaustuloksiin.



**Kuva 9.** Suojamaadoituksen, toiminnallisen maan sekä moottorilohkon maadoituspisteen merkinnät. /5/

### 7.5.2 Automaatioasennusten vaihekohtaiset työohjeet

Sähkö- ja automaatioasennusten yleisten työohjeiden jälkeen laadittiin automaatioasennusten vaihekohtaiset työohjeet. Automaatioasennusten kokoonpano on jaettu kolmeen selkeään työjärjestykseen. Ensimmäisessä vaiheessa komponentit asennetaan paikalleen sekä kaapeloidaan kytkentärasioilleen. Seuraavassa vaiheessa kaapelit kuoritaan, sisäänotetaan kytkentärasioille ja johtimet kytketään liittimiin piirustusten mukaisesti. Viimeisessä vaiheessa kytkennät tarkastetaan, ohjelmisto tallennetaan moottorin flash-muistiin sekä moottorin toiminta koestetaan sähköisesti.

Automaatioasennusten ensimmäistä työkokonaisuutta määritettäessä lähdettiin tutkimaan, mitkä asiat on viisainta suorittaa ennen kuin moottori saapuu automaatioasennusten ensimmäiseen vaiheeseen. Tällaisia asioita ovat kiertokangen laakerien lämpöantureiden ja läpivientien asentaminen sekä sivuluukkumoduulin asentaminen.

Sivuluukkumoduuli koostuu tarvittavasta määrä IOM-moduuleja. Moduulit ovat asennettu metalliseen rakenteeseen joka kiinnitetään suoraan moottorilohkoon

kiinni. Sivuluukkumoduuli valmistetaan alihankintana, jossa moduuleihin asennetaan valmiiksi oikean pituisiksi kaapeloidut anturit. Myös moduuleita yhdistävät väyläkaapelit asennetaan valmiiksi alihankintana. Tällä tavoin antureiden asentaminen sujuu nopeasti, eikä aikaa kulu materiaalin hakemiseen tai kaapelin pituuden mitoittamiseen. Moottorin paikallisohtauskeskus valmistetaan samalla tavalla alihankintana.

Moottorin saapuessa automaatioasennusten ensimmäiseen vaiheeseen, siihen on asennettu sivuluukkumoduuli ja kiertokangen laakerien lämpötila-anturit. Lisäksi voiteluöljymoduulin ja turboahtimen anturit on asennettu paikalleen ja kaapeloitu kytkentärasioilleen valmiiksi.

Automaatioasennusten ensimmäisestä työkokonaisuudesta erotettiin 12 työvaihetta jotka ovat

- lämpöantureiden asentaminen pakosarjoihin
- keskuksen asennuksen valmistelut
- keskuksen asentaminen
- kiertokangen laakerien lämpötilan mittausjärjestelmän kaapeleiden asentaminen läpivienteihin, kaapeleiden kiinnittäminen kytkentärasialle ja kytkentärasian asentaminen
- moottorin takasivun antureiden asentaminen ja kaapeleiden kiinnittäminen voiteluöljymoduulin kytkentärasialle
- IOM-DE kytkentärasialta lähtevien antureiden asentaminen ja kaapeleiden kiinnittäminen
- pyörityslaitteen-, seis-vivun rajakytkimen- ja pyörimisnopeusantureiden asentaminen sekä kaapelointi paikallisohtauskeskukselle
- turboahtimelta lähtevien antureiden asentaminen sekä kaapeleiden kiinnittäminen
- IOM-FE kytkentärasialta lähtevien antureiden asentaminen ja kaapeleiden kiinnittäminen
- paikallisohtauskeskuksen alta kulkevien kaapeleiden kiinnittäminen ja asennusten siistiminen

- kaapeleiden kiinnittäminen sivuluukkuun
- asennuspaikan siivoaminen ja työkalujen palauttaminen.

Työvaiheet selvitettiin piirustuksia sekä vanhoja työohjeita tutkimalla. Työvaiheiden erottamista helpotti moottorin automaation modulaarinen rakenne. Jotkin työvaiheet ovat sidoksissa toisiinsa, jolloin tietty työvaihe täytyy tehdä ennen kuin voidaan siirtyä seuraavaan.

Työvaiheet ovat käytännössä jaettu moduuleittain. Piirustuksista tarkistetaan esimerkiksi IOM-DE moduuliin liitettyjen antureiden fyysinen sijainti moottorissa ja asennetaan anturi oikeaan paikkaan. Kun moduulin kaikki anturit ovat asennettu, kiinnitetään kaapelit siististi ohjeiden mukaan.

Automaatioasennusten ensimmäinen vaihe on valmis, kun kaikki anturit ja toimilaitteet ovat asennettu piirustusten mukaan ja kaapelit kiinnitetty koko pituudeltaan oikeaoppisesti. Moottori on valmis siirrettäväksi seuraavaan vaiheeseen, jossa kaapelit sisäänotetaan kytkentärasioille ja johtimet kytketään piirustusten mukaan.

Työkokonaisuudesta erotettiin 9 työvaihetta, jotka ovat

- IOM-DE ja IOM-FE kytkentärasioille tulevien väyläkaapeleiden sekä antureiden kytkeminen
- kiertokangen laakerien lämpötilan mittausjärjestelmän kytkentärasialle tulevan väyläkaapelin kytkeminen
- runkolaakereiden termoparien kaapelin kytkeminen
- paikallisohjauskeskukseen tulevien kaapelin kytkeminen
- voiteluöljymoduulin kytkentärasialle tulevien kaapeleiden sisäänotto kytkeminen
- antureiden asentaminen HT-vesiputkiin
- öljysumuhälyttimen kaapelointi ja kytkeminen
- antureiden asentaminen ahtoilmamoduuliin
- asennuspaikan siivoaminen ja työkalujen palauttaminen.

Työkokonaisuutta ei jaettu osiin moduuleittain vaan kaapelityypin perusteella. Tällöin toinen sähköasentajista voi keskittyä kytkemään väyläkaapelit ja toinen sähköasentaja kytkemään anturit. HT-vesiputkien ja öljysumuhälyttimen anturit asennetaan ja kytketään viimeiseksi, koska asennuksia ei voida suorittaa ennen kuin pakoputken eristyslaatikko on koottu. Eristyslaatikko on viimeisiä mekaanisia töitä vaiheella 6.

Kun kaikki kytkennät ja asennukset ovat tehty, moottori siirretään viimeiseen vaiheeseen. Viimeisessä vaiheessa kytkennät tarkastetaan, ohjelmisto tallennetaan moottorin flash-muistiin sekä moottorin toiminta koestetaan sähköisesti. Viimeisen työkokonaisuuden työvaiheet pystyttiin määrittämään testipöytäkirjan perusteella. Sähköisen koestuksen työvaiheet olivat

- testipöytäkirjan hakeminen IDM:sta
- maadoitus ja hitsausvaroituskylttien asentaminen
- moottoritietojen ja sarjanumeroiden täyttäminen
- PDM:n syötön ja CAN-väylän vastusmittaus
- syötön kytkeminen, LDU:n pohjaohjelmiston- ja ESM:n asetusten lataaminen
- OMD:n parametointi
- projektikohtaisen ohjelmistopakettin lataaminen ja ruiskutuspumppujen asennoittimen kalibroiminen
- kiertokangen laakerien lämpötilan mittausjärjestelmän- ja paikallisohjauselementtien koestus
- moottorin pyörimisnopeus signaalien ja ohjaustilojen koestus
- käynnistyksen estotilojen, laukaisutilojen, hätä seis-signaalien ja simuloitujen käynnistyksen koestus
- ahtoilmajärjestelmän, hukkaportin ja varapumppujen ohjausreleiden koestus
- testauspöytäkirjan täyttäminen sähköiseen muotoon sekä pöytäkirjan etusivun ja ESM:n asetusten tulostus paikallisohjauselementteihin
- kaapeli- ja lohkomerkkien tarkastus sekä lopputarkastuslistan täyttäminen.



Mittauspöytäkirja on hyvä kokonaisuus, jossa kerrotaan vaihe-vaiheelta miten tulee edetä. Pöytäkirjassa ei kuitenkaan ole ohjeita WECSplorer ohjelman käyttämiseen tai kiertokangen laakerien lämpötilan mittausjärjestelmän testaamiseen. Työohjeeseen laadittiin kattava ohje ohjelmien näiden käyttämiseen.

Automaatioasennusten, sähköisen koestuksen ja generaattoriasennuksen jälkeen generaattorin mittaustiedot voidaan liittää osaksi moottorinohjausjärjestelmää asiakkaan toiveen perusteella. Tällöin täytyy asentaa yksi IOM-moduuli, väyläkaapeli paikallisohjauskeskuksen ja IOM-moduulin välille, moninapakaapeli moduulin ja generaattorin kytkentärasian välille sekä putkitukset väyläkaapelia varten.

Tällä hetkellä generaattorin mittaustiedot ja väylän toimivuus jäävät kokonaan testaamatta ennen koeajoa. Uudelleentestausta varten tarvittaisiin kannettava jännitelähde ja kannettava tietokone WECSplorer ohjelmistolla. Tällä varmistuttaisiin väylän toimivuudesta IOM-E1 kytkentärasian ja LCP:n välillä sekä generaattorin mittauksien toimivuus.

## 8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

### 8.1 Yhteenveto ja lopputuloksen kuvaus

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi työohje sekä työvaiheohje WL32E-moottorimallin automaatioasennuksille. Ohjeiden yksityiskohtia ei julkaista tässä työssä, vaan työ selostus miten työ- sekä työvaiheohje on laadittu ja mitä asioita on otettu huomioon. Työ- ja työvaiheohjeen päämääränä oli vähentää automaatioasennusten valmistusketjusta kahdeksan arvoa tuottamattoman toiminnan määrää. Tällä pyrittiin varmistamaan tuotannon tavoitteet ja vähentämään laaduttomuuskustannuksia.

Työn ohessa saatiin toimintamalli automaatioasennusten tuotannollistamiseen, työohjeen ja työvaiheohjeen laadintaan. Toimintamalli jakautuu neljään osaan. Osat ovat

- tutki ja suunnittele
- toteuta
- dokumentoi
- kehitä.

Ensimmäisessä osassa toteutus suunniteltiin. Tämä tarkoittaa sähkö- ja teknisten piirustusten tutkimista. Piirustusten perusteella luotiin alustava työvaiheohje. Lisäksi moottorierittelystä tarkastettiin, että automaatioasennuksissa käytetyt materiaalit olivat eritelty oikeille vaiheille.

Toisessa vaiheessa suunniteltu toteutus toimeenpantiin. Kokoonpanon edistymistä seurattiin tarkasti sekä tehtiin muistiinpanoja yksityiskohdista ja vaiheohjeen toimivuudesta. Suunnitteluvirheistä tehtiin V2-korjausehdotukset, jolloin samoja virheitä ei pitäisi enää ilmetä seuraavissa projekteissa.

Ennen dokumentointia tarkastettiin toimintamallin toimivuus. Tässä tapauksessa toimintamallin toimivuudella tarkoitettiin työvaiheohjeen toimivuutta. Jokainen työvaihe dokumentoitiin laatimalla lyhyt työohje, jossa kuvattiin oleelliset asiat työn suorittamista varten. Viimeisessä osassa toimintamallia kehitetään. Mikäli toimintamalli todetaan toimivaksi, se voitaisiin laajentaa koskemaan myös mekaanisia

töitä. Toimivuuden toteamiseen tarvitaan sopivia mittareita. Kehitysehdotuksia on mietitty seuraavassa kappaleessa.

## 8.2 Kehitysehdotukset

Työ- työvaiheistusohjeen vaikutusta on vielä vaikea arvioida, koska samaa moottorimallia ei ole kokoonpantu tutkimusmoottoreiden jälkeen. Tämän lisäksi olisi hyvä pohtia asianmukaiset mittarit, joiden perusteella ohjeiden vaikutusta voidaan arvioida.

Ohjeiden tarkoituksena on nostaa automaatioasennusten yleistä laatutasoa tai pitää saavutettu laatutaso sekä lyhentää asennusten läpimenoaikaa. Ohjeet ovat laadittu melko yleispäteviksi, jolloin ohjeiden laajentaminen koskemaan kaikkia W32-rivimoottorimalleja on melko helposti toteutettavissa. Näin myös sopivien mittareiden laatiminen olisi helpompaa, koska ne koskisivat kaikkien rivimoottoreiden kokoonpanoa. Sopivia mittareita voisivat olla

- virhekustannusten trendi
- automaatioasennusten läpäisyajan mittaaminen
- 5S-siisteystarkastuksen tulokset automaatioasennuksien vaiheilla.

Virhekustannusten osalta etenkin sisäisiä virhekustannuksia olisi helppo seurata, koska tuotannonohjausjärjestelmään on helppo kirjata hylkäykseen menneet materiaalit sekä korjaustöihin ja uusintatarkastuksiin kuluneet työtunnit.

Automaatioasennusten läpäisyajan mittaaminen voisi antaa jonkinlaista näyttöä ohjeiden toimivuudesta. Automaatioasennusten läpäisy aika voi kuitenkin pitkittyä mekaanisten töiden vuoksi, jolloin mittari ei kerro koko totuutta. 5S-siisteystarkastuksissa pitäisi näkyä selvä lasku huomautuksissa epäsiisteystestä, sillä työpisteen siivous ja työkalujen palautus on otettu osaksi työprosessia.

Mittareiden laatimisen jälkeen mahdollisia kehitysaiheita olisivat

- IOM-E1 CAN-väylän toimivuuden ja mittauksien koestus
- mekaanisten töiden työohjeen ja työvaiheistuksen laatiminen
- automaatioasennusten ja mekaanisten asennusten työvaiheiden yhteensovittaminen
- arvovirtaketjun laatiminen automaatioasennuksista
- automaatioasennusten työohjeen laajentaminen kattamaan kaikki WL32 UNIC-C2 sukupolvet.

Kehitysehdotusten päämääränä on samojen asioiden kehittäminen, kuin tässä opinnäytetyössä esitetyt ja tehdyt asiat. Mittakaava vain laajenisi automaatioasennuksista koko moottorin kokoonpanon käsittäväksi projektiksi.

### **8.3 Arviointi**

Opinnäytetyö aloitettiin vuoden 2014 alussa. Työn aloittamisen yhteydessä pidettiin aloituspalaveri ja työn puolivaiheessa välipalaveri. Palavereihin osallistuivat opinnäytetyön ohjaajat koulun sekä yrityksen puolesta.

Aloituspalaverin yhteydessä aihepiiri rajattiin koskemaan WL32E-moottorimallin automaatioasennusten tuotannollistamista. Tämän lisäksi laadittiin työ- ja työvaiheohje. Jälkikäteen ajatellen aihepiiri rajattiin ehkä hieman liian suureksi. Tämä aiheutti muutoksia ennalta laadittuun aikatauluun. Myös omat kiireet ja liian optimistisesti laadittu aikataulu vaikuttivat opinnäytetyöprosessiin ja aikatauluun Aihepiirin laajuuden vuoksi sivu-urille ajautuminen muodostui välillä ongelmaksi, jolloin aiheessa pysyminen tuotti välillä ongelmia.

Dieselmoottorin automaatioasennukset oli tuttua asiaa aikaisempien kesätöiden vuoksi. Teoreettisesti oleellisiksi asioiksi muodostuivat sähkötekniisten asioiden lisäksi teollisuustaloudelliset asiat. Työn aihe oli mielenkiintoinen, käytännönläheinen sekä yritykselle ajankohtainen. Myös oma mielenkiinto ja mahdollinen työskentelyn jatkaminen Wärtsilässä motivoivat etsimään ja opiskelemaan uusia asioita suuresti.

Työn tuloksia on vielä hankala arvioida, koska tulosten arvioimiseen täytyy luoda sopivat mittarit sekä löytää vertailutietoa aikaisemmin valmistetuista moottoreista tai aloittaa vertailutiedon kerääminen ennen uusien työ- ja vaiheohjeiden käyttöönottoa. Työn tekeminen oli prosessi, jossa hyödynnettiin aiemmin opittua tietoa sekä etsittiin ja sisäistettiin uutta tarvittavaa tietoa.

## LÄHTEET

- /1/ Andersson, P & Tikka, H, A. 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. 1. painos. Porvoo. WSOY.
- /2/ Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2005. Teollisuustalous. 5. painos. Tampere. Infaces.
- /3/ Lean thinking methods. Viitattu 26.3.2014. <http://www.epa.gov/lean/environment/methods/fives.htm>
- /4/ Slack, N, Chambers, S & Johnston, R, A. 2004. Operations Management. 4. painos. Harlow. Financial Times Prentice Hall.
- /5/ Wärtsilä electrical installation guide. Internal document.
- /6/ Wärtsilä Intranet
- /7/ Wärtsilän kotisivut. Viitattu 26.3.2014. <http://www.wartsila.com>
- /8/ Wärtsilä UNIC-C3 system description. Internal document.
- /9/ Wärtsilän vuosikertomus 2013